



# Caractérisation théorique du régénérateur 2R exploitant l'automodulation de phase dans une fibre optique

Thanh Nam Nguyen, Thierry Chartier, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon, Julien Fatome, Stéphane Pitois, Christophe Finot

## ► To cite this version:

Thanh Nam Nguyen, Thierry Chartier, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon, Julien Fatome, et al.. Caractérisation théorique du régénérateur 2R exploitant l'automodulation de phase dans une fibre optique. 26èmes Journées Nationales de l'Optique Guidée, Jul 2007, Grenoble, France. hal-00469971

**HAL Id: hal-00469971**

**<https://hal.science/hal-00469971>**

Submitted on 4 Apr 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Caractérisation théorique du régénérateur 2R exploitant l'automodulation de phase dans une fibre optique

Thanh Nam Nguyen, Thierry Chartier, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon

FOTON (UMR CNRS 6082), ENSSAT, 6 rue de Kerampont, BP 80518, 22 305 Lannion cedex, France. [nguyen@enssat.fr](mailto:nguyen@enssat.fr).

Julien Fatome, Stéphane Pitois, Fida Baz, Christophe Finot

Institut Carnot de Bourgogne (ICB), UMR 5209 CNRS-Université de Bourgogne, 9 Av. A. Savary, BP 47 870, F-21078 DIJON.

**Abstré :** Nous étudions théoriquement un régénérateur 2R exploitant l'automodulation de phase dans une fibre optique, suivie d'un filtrage spectral décalé en fréquence. Nous utilisons deux approches différentes mais complémentaires : l'approche « fonction de transfert » et l'approche « amélioration du facteur Q ». Nous mettons notamment en évidence l'impact de la gigue temporelle pour expliquer un désaccord entre les deux approches.

## 1. Introduction

La fonction de régénération optique du signal suscite depuis quelques années un intérêt croissant. Cette fonction vise à limiter la dégradation de la qualité du signal optique [1]. Parmi les techniques de régénération optique, celles basées sur l'utilisation de l'effet Kerr dans des fibres optiques sont séduisantes par leur simplicité et leur temps de réponse instantané. Dans cette communication nous étudions théoriquement la technique de régénération 2R proposée par Mamyshev [2]. A cette occasion, nous faisons le lien entre deux approches communément utilisées pour décrire théoriquement ce régénérateur : l'approche « fonction de transfert » et l'approche « amélioration du facteur Q ». Si ces deux approches convergent sur certains points elles diffèrent sur l'estimation de la puissance optimale de fonctionnement du régénérateur. Nous expliquons la raison de cette différence en mettant en évidence le rôle de la gigue temporelle induite par le régénérateur lui-même.

## 2. La fonction de transfert du régénérateur

Le schéma de principe de la technique de régénération 2R proposée par Mamyshev [2] est décrit sur la figure 1(a). L'effet Kerr, exacerbé dans une fibre optique, génère, par automodulation de phase, des fréquences en dehors du spectre initial situé autour de  $\lambda_0$ . Plus l'intensité optique est importante et plus les fréquences sont décalées. Seules les intensités atteignant un niveau suffisant sont alors transmises par le filtre centré en  $\lambda_f$ . Ce dispositif agit donc comme un discriminateur de puissance dont la courbe de transmission non-linéaire est représentée sur la figure 1(b). Cette courbe s'obtient par résolution numérique de l'équation de Schrödinger non-linéaire pour une impulsion, c'est l'approche « fonction transfert ». En fonction du décalage spectral du filtre de sortie, trois types de fonctions de transmission peuvent être obtenues, notées A, B, et C sur la figure 1(b). Récemment, Provost *et al.* [3] ont élaboré des règles générales de conception permettant d'optimiser les nombreux paramètres d'un tel régénérateur (non-linéarité, dispersion et longueur de la fibre, largeur et décalage du filtre) afin d'obtenir la meilleure amélioration du taux d'extinction du signal. Le meilleur jeu de paramètres est obtenu pour une courbe de type B. Cette courbe présente deux plateaux horizontaux relativement larges (un plateau pour les faibles puissances crêtes et un plateau pour de plus fortes puissances crêtes) permettant de réduire simultanément et de manière efficace le bruit sur les symboles « zéro » et sur les symboles « un ». Il apparaît alors que la puissance crête optimale pour les symboles « un » se situe au niveau du second plateau.

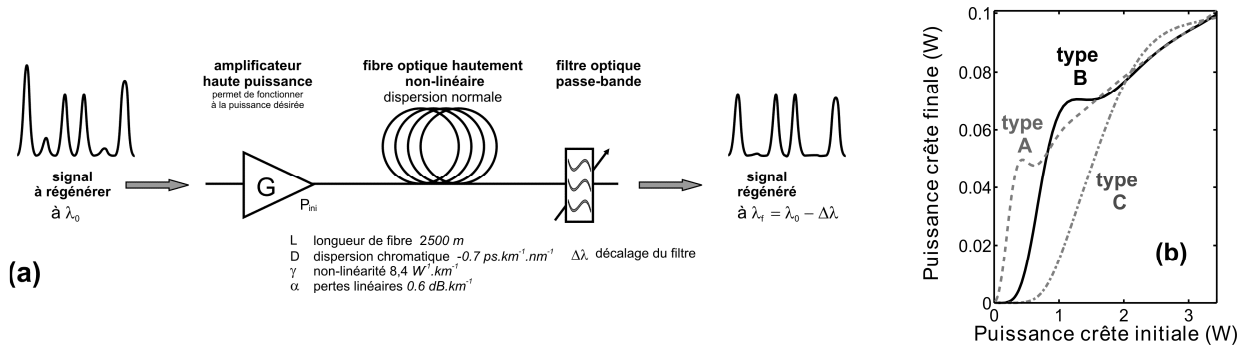


Fig. 1 : (a) schéma du régénérateur 2R selon la technique de Mamyshev. Les paramètres utilisés correspondent à ceux détaillés dans la référence [4] et (b) différentes fonctions de transfert obtenues pour différents décalages spectraux du filtre (types A, B et C, obtenus pour  $\Delta\lambda = 100, 280$  et  $460$  GHz respectivement).

### 3. L'amélioration du facteur Q

Une autre approche pour caractériser le régénérateur de Mamyshev est basée sur « l'amélioration du facteur Q » du signal. Le facteur Q détermine la qualité d'un signal après détection. Sa définition est illustrée sur la figure 2(a). Pour estimer l'amélioration du facteur Q par la technique de Mamyshev, Nguyen *et al.* [4] ont modélisé le processus de régénération par le schéma de la figure 3. En entrée du régénérateur, un signal à 40 Gbit/s constitué d'impulsions gaussiennes est dégradé par une source d'émission spontanée générant un bruit blanc gaussien. Le régénérateur est constitué d'une fibre optique non-linéaire et d'un filtre de sortie décalé. Le filtre en entrée a pour objectif d'éliminer le bruit dans la bande passante du filtre de sortie. La détection est composée d'un détecteur idéal suivi d'un filtre électrique. L'amélioration du facteur Q est quantifiée par le rapport  $Q_I$  (en dB), entre le facteur Q du signal sans le régénérateur et le facteur Q du signal en présence du régénérateur. La figure 2(b) représente  $Q_I$  en fonction de la puissance crête  $P_1$  des symboles « un » pour un taux d'extinction en entrée de 20 dB et un rapport signal à bruit optique (OSNR) en entrée de 27 dB mesuré sur une bande de 0,1 nm. Pour le jeu de paramètres utilisés au cours de cette étude [4], l'amélioration maximum du facteur Q est de 2 dB pour une puissance crête  $P_1$  de 1,8 W. Sur la figure 2(b) est également représentée la fonction de transfert, décrite au paragraphe 2. Nous avons pu vérifier que l'approche « amélioration du facteur Q » confirme que la fonction de transfert de type B est la fonction de transfert optimale car elle permet d'atteindre les valeurs de  $Q_I$  les plus élevées. Cependant, on note que les deux approches diffèrent par l'estimation de la puissance crête de fonctionnement des symboles « un » : 1,8 W pour la valeur maximum de  $Q_I$  contre 1,3 W pour la puissance au centre du second plateau horizontal dans l'approche « fonction de transfert ».

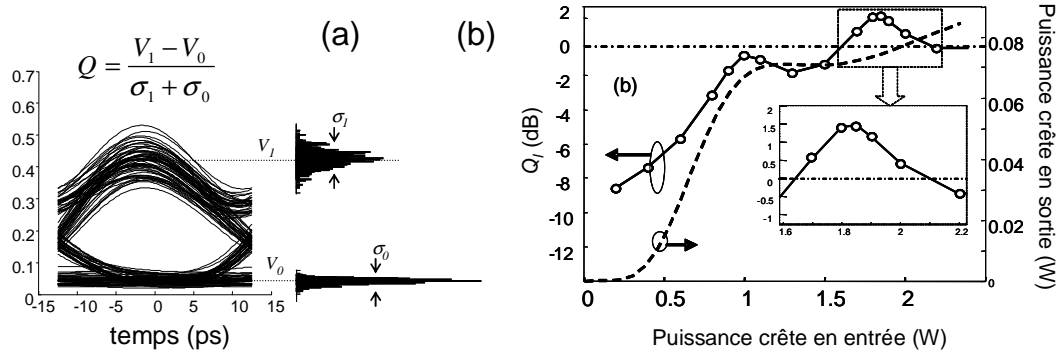


Fig. 2 : (a) définition du facteur Q et (b) évolution de  $Q_I$  en fonction  $P_1$ .

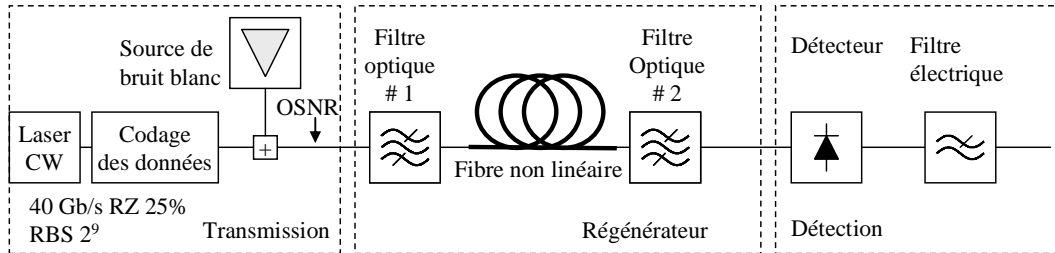


Fig. 3 : Schéma utilisé pour la modélisation de l'amélioration du facteur Q.

### 4. Le rôle de la gigue temporelle

Afin d'expliquer la différence entre les points de fonctionnement obtenus à l'aide des deux approches précédentes, nous devons nous intéresser à la gigue temporelle introduite par le régénérateur. En effet, en raison du principe même de l'automodulation de phase, des impulsions de puissances crêtes différentes ne se trouvent pas extraites au même instant du régénérateur, conduisant alors, comme illustré sur la figure 4, à un décalage temporel  $\Delta T$ . La gigue temporelle correspond à l'amplitude de ce décalage pour des variations de puissance crête données. La gigue temporelle dégrade la qualité du signal à la détection et affecte le facteur Q du signal. Sur la figure 5(a), nous avons tracé ce décalage  $\Delta T/\tau_e$ , référencé par rapport à une impulsion initiale et normalisé par la durée à mi-hauteur  $\tau_e$  de l'impulsion initiale, en fonction de  $P_1$ . Les paramètres de simulation sont identiques à ceux de la référence [4]. Nous remarquons que, dans la zone correspondant au plateau de la fonction de transfert (zone 1), les variations de  $\Delta T/\tau_e$  sont importantes, impliquant une gigue temporelle pouvant aller jusqu'à 20 % de  $\tau_e$ . Par contre, pour des puissances plus élevées, dans une zone quasi linéaire de la fonction de transfert (zone 2), les variations de  $\Delta T/\tau_e$  sont quasi-nulles, impliquant une gigue temporelle quasi inexistante. Le point de

fonctionnement optimal pour la puissance crête des symboles « un » doit donc être un compromis entre un point de fonctionnement dans la zone 1 où le bruit d'amplitude est réduit et un point de fonctionnement dans la zone 2 où la gigue temporelle introduite par le régénérateur est minimale. En raison de son caractère unique, permettant de quantifier les dégradations d'un signal dues aux variations d'amplitude et à la gigue temporelle, le facteur Q est un indicateur des performances du régénérateur. La figure 2(b) nous indique effectivement que le point de fonctionnement optimal se situe dans la zone intermédiaire entre les zones 1 et 2. La figure 5(b) représente quant à elle l'évolution de la durée à mi-hauteur  $\tau_s$  de l'impulsion de sortie (normalisée par rapport à  $\tau_e$ ) en fonction de  $P_1$ . On remarque que la zone où a lieu l'amélioration maximum du facteur Q correspond également à la zone qui préserve au mieux les durées d'impulsions.

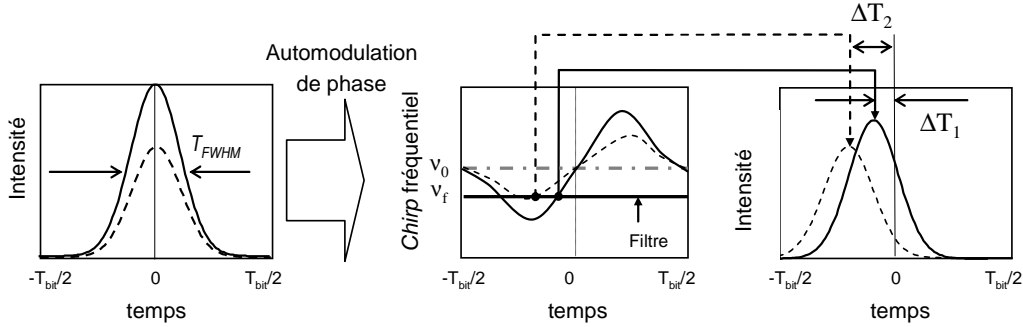


Fig. 4 : Illustration du décalage temporel induit par automodulation de phase entre deux impulsions de puissance crête différente.

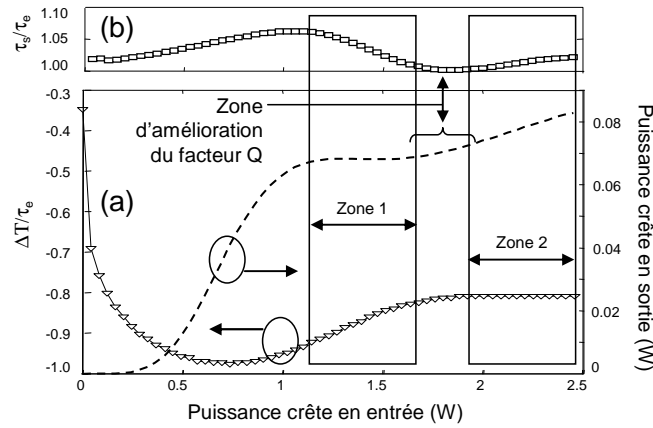


Fig. 5 : (a) évolution de l'écart temporel  $\Delta T/\tau_e$  et (b) évolution de la durée  $\tau_s/\tau_e$  de l'impulsion de sortie en fonction de  $P_1$ .

## 6. Conclusions

Nous avons présenté deux approches pour étudier le régénérateur de type Mamyshev. Les deux approches confirment que la fonction de transfert de type B est la plus adaptée à la régénération 2R. Notre étude montre également que la puissance de travail optimale pour les symboles « un » doit être un compromis entre une puissance limitant le bruit d'amplitude et une puissance limitant la gigue temporelle. Ce travail doit maintenant être poursuivi par un calcul plus précis en termes de probabilités d'erreur car l'approche « amélioration du facteur Q » repose sur l'hypothèse (non prouvée) d'une statistique gaussienne.

Ce travail est financé par l'Agence Nationale de la Recherche, AAP Télécommunications 2006, projet FUTUR. Les auteurs remercient Irène Joindot et Michel Joindot (FOTON) pour leurs commentaires sur le manuscrit.

## Références

- [1] J.-C. Simon, L. Bramerie, F. Ginovart, V. Roncin, M. Gay, S. Fève, E. Le Cren, and M.-L. Charès, "All optical regeneration techniques," *Ann. Télécommun.* **58**, no. 11-12 (2003).
- [2] P. V. Mamyshev, "All-optical data regeneration based on self-phase modulation effect," in *Proceedings of the 1998 European Conference on Optical Communications (ECOC, Madrid, 1998)* 1, 475-476 (1998).
- [3] L. Provost, C. Finot, P. Petropoulos, K. Mukasa, D. Richardson, "Design scaling rules for 2R-optical self-phase modulation-based regenerators," *Optics Express* **15**, 5100 (2007).
- [4] T. N. Nguyen, M. Gay, L. Bramerie, T. Chartier, J.-C. Simon, and M. Joindot, "Noise reduction in 2R-regeneration technique utilizing self-phase modulation and filtering," *Optics Express* **14**, 1737 (2006).